

Estructuras y sistemas de automatización para la construcción óptima de invernaderos

Diego L. Valera y Francisco D. Molina.

Universidad de Almería.

La mayor parte de la superficie de invernaderos mundial se localiza en regiones áridas, como la cuenca mediterránea, donde se concentra aproximadamente el 20% de la superficie mundial. Concretamente en la provincia de Almería existe la mayor aglomeración de invernaderos a nivel planetario (el 4% del total mundial). La superficie de invernaderos a nivel mundial ha experimentado en los últimos 30 años un crecimiento exponencial debido a la puesta en producción de nuevas áreas en los países asiáticos (China, Japón, Korea, etc.). Sin embargo, en España la superficie que seguía un patrón de crecimiento similar hasta finales del siglo pasado, se ha estancado e incluso reducido en los últimos años por la falta de superficie para la implantación de nuevos invernaderos y una caída en la rentabilidad de las explotaciones.

Este patrón de crecimiento tiene dos consecuencias importantes para el sector productor de la horticultura protegida en España: una mayor competencia internacional y un menor peso en los mercados internacionales. En primer lugar, la creciente competencia hace necesario mejorar la calidad de los productos como factor diferenciador para su comercialización. En segundo lugar la necesidad de mantener los niveles de beneficio, que antes se apoyaba en un incremento de superficie productora, ahora debe basarse en un aumento de la producción y el rendimiento del cultivo. Estos dos factores han promovido una importante evolución tecnológica que se está desarrollando en los últimos años.

La optimización de la gestión de la producción en los invernaderos exige el diseño y desarrollo de nuevas estructuras y materiales concebidos para su aplicación en la construcción de invernaderos más eficientes desde el punto de vista económico (maximizando la producción) y energético (minimizando el consumo de insumos). Hasta finales de los años noventa el rápido desarrollo de los cultivos bajo plástico no se tradujo en una mejora de las estructuras de los invernaderos, debido fundamentalmente al largo periodo de tiempo necesario para renovar las estructuras y a la fuerte inversión necesaria para ello. Sin embargo, paulatinamente se están mejorando las estructuras, que cada vez son más herméticas, tienen mayor altura para mejorar las condiciones de cultivo y la gestión automatizada del clima, y presentan mejor resistencia estructural al utilizar materiales de mayor calidad. Actualmente los invernaderos se diseñan para acoger dentro de ellos un cultivo hortícola que será tratado a lo largo de su ciclo de vida como un insumo de producción, al cual se le unirán

Invernadero multitúnel.



otros (como agua, combustibles, fertilizantes, productos fitosanitarios, mano de obra, etc.). Es decir, los invernaderos del futuro se asemejan más a industrias agrarias que a los tradicionales huertos agrícolas de los que provienen.

También se está desarrollando una importante labor de investigación y desarrollo en nuevos tipos de mallas anti-insectos que permitan una optimización de sus prestaciones tanto en el control de los insectos plagas como en su permeabilidad al aire para mejorar la capacidad de ventilación de las ventanas de los invernaderos. Igualmente se están invirtiendo muchos esfuerzos en una mejora de los diseños de las ventanas y de las propias estructuras de los invernaderos desde el punto de vista de la eficiencia climática mediante aplicación de programas de simulación basados en la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) provenientes del sector aeronáutico. Los programas de CFD resuelven las tres ecuaciones de conservación de la cantidad de movimiento (denominadas ecuaciones de Navier-Stokes), así como las de conservación de masa y de energía, permitiendo determinar los campos escalares y vectoriales que intervienen en el flujo del aire.

Las simulaciones del flujo de aire mediante CFD para el análisis del microclima de los invernaderos permiten un estudio sistemático de la influencia del diseño del invernadero y su sistema de ventilación en el flujo de aire interior y la distribución de temperatura. Como elementos de entrada en las simulaciones se utilizan las características constructivas de la estructura (dimensiones y simetrías) y de sus ventanas (posición, tamaño, grado de apertura y propiedades aerodinámicas de las mallas anti-insectos), así como los parámetros climáticos exteriores (temperatura, velocidad y dirección del viento).

Actualmente se están desarrollando aún a nivel experimental sistemas de control de tipo predictivo que, basándose en previsiones meteorológicas, balances de energía en el invernadero y modelos de crecimiento de las plantas, permiten estimar las variaciones de producción generadas por los sistemas de climatización y su coste económico

De esta forma se puede evaluar la homogeneidad del microclima dentro del invernadero para poder actuar sobre los diferentes factores de diseño, de forma que se mejore la situación en aquellas zonas más desfavorables para el cultivo.

La automatización en materia de control climático se centra en la búsqueda de equipos y sistemas que sean cada vez más eficientes energéticamente. La automatización del control ambiental en invernaderos se puede realizar a diferentes niveles, que abarcan desde el simple control del grado de apertura de las ventanas en función exclusivamente de la temperatura interior, a potentes equipos de regulación predictiva del clima. Así, se están desarrollando nuevos sistemas de automatización para poder predecir con un cierto grado de exactitud las situaciones futuras (condiciones climáticas, estado de



Consume alimentos ecológicos.
Cuidan de ti y del medio ambiente.



Un alimento ecológico es 100% alimento.



La agricultura ecológica mantiene la fertilidad del suelo, respeta los ciclos naturales, favorece la biodiversidad y produce alimentos sanos y de calidad.

las plantas o precios de mercado) en las que se contextualizará la producción del cultivo. Mediante estos controladores predictivos se obtienen los valores óptimos de las variables de control del clima (apertura de las ventanas, despliegue de pantallas térmicas, temperatura del agua de calefacción, etc.) que se implementan en el sistema de control climático que se encarga de gestionar los actuadores.

Armazones estructurales para la construcción de invernaderos

El microclima que se genera en el interior de un invernadero depende en gran medida de sus características estructurales que permanecerán invariables a lo largo de toda su vida útil. El primer factor que hay que considerar a la hora de construir un invernadero es su orientación, ya que determina la disponibilidad de luz para las plantas y condiciona la eficacia del sistema de ventilación y la seguridad de la estructura frente al viento. La orientación de las ventanas con respecto al viento tiene importancia en los tipos de invernaderos no simétricos, como los de diente de sierra, sugeridos por algunos investigadores como una buena alternativa para los invernaderos en la zona mediterránea. El tipo de invernadero y la forma de la cubierta, influyen principalmente en la captación de energía solar, por lo que actualmente se construyen invernaderos con cubierta circular (como los multitúnel o los ojivales) o con cubiertas a dos aguas (como los tipo Almería en "raspa y amagado" o los Venlo).

Una de las características geométricas más importantes de un invernadero es su anchura, ya que ésta afecta directamente a la circulación de aire en el interior, siendo recomendable que no supere los 50 m. En los invernaderos mediterráneos el parámetro de diseño que mayor importancia tiene en el control climático es la superficie y el tipo de aberturas de ventilación utilizadas. En el caso de los invernaderos de tipo Venlo, caracterizados por aperturas discontinuas de ventilación cenital y con un pequeño valor de la relación de forma de la ventana (la longitud dividida por la altura, L/H), el efecto de la dirección del viento y del ángulo de apertura de las ventanas influyen directamente en la tasa de ventilación. Sin embargo, en invernaderos de tipo multitúnel y tipo Almería, en los que las ventanas cenitales son continuas, con un elevado valor de la relación L/H, el efecto del viento depende poco de su dirección y es linealmente proporcional a su velocidad.

Los armazones estructurales más utilizados en el en la actualidad son los correspondientes a los tipos Almería, multitúnel y Venlo. El primero de los tipos corresponde a los más utilizados (92,4 % de

la superficie invernada) en la provincia de Almería, en el sureste de España, donde está la mayor concentración de invernaderos del mundo, con una superficie cercana a las 30.000 ha. La evolución tecnológica de los invernaderos se ha traducido en el sureste peninsular en una paulatina sustitución de los invernaderos de cubierta plana por otros invernaderos tipo Almería con inclinación a dos aguas de la cubierta de cada módulo denominados en raspa y amagado, de mayor volumen interior, más herméticos y que permiten la instalación de ventilación cenital. En menor medida también ganan terreno los invernaderos multitúnel, menos adaptados a esta zona que el invernadero tipo Almería y de un precio superior. A modo anecdótico también existen algunas explotaciones de invernaderos de cristal tipo Venlo, con un precio situado en otro orden de magnitud.

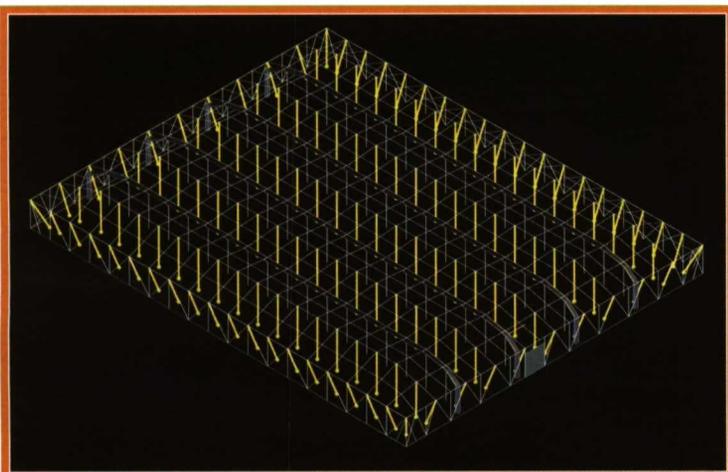
Como consecuencia de la próxima aparición de normas sobre la construcción de invernaderos y de las ya aplicables en España como la de invernaderos de estructura metálica (UNE 76-208/92), los invernaderos se están modificando de forma que las estructuras sean más seguras frente a la acción eólica y permitan un mayor control del clima. La normalización debe aportar mayor homogeneidad en los diseños, mayor seguridad estructural, y como consecuencia de ello una mayor facilidad para incorporar tecnología de control climático.

En general, las estructuras de los diferentes tipos de invernadero han sufrido un aumento en la altura. Esto ha permitido aumentar el volumen unitario, que repercute en una mejora del microclima interior al aumentar la inercia térmica del invernadero y la capacidad de renovación de aire por encima del cultivo. Del mismo modo, en Holanda se están empezando a comercializar nuevos diseños de invernaderos de tipo Venlo con dos plantas y con una altura superior a 8 m, en los que mediante sistemas de control climático muy sofisticados se puede mantener el invernadero cerrado, refrigerándolos a través de sistemas basados en paneles evaporativos. En estos invernaderos se puede conseguir prácticamente duplicar el número de plantas por superficie de suelo al disponer las plantas a dos alturas diferentes. En la planta inferior se utiliza de forma continua iluminación artificial mientras que en la planta superior se utiliza la radiación solar; además la temperatura se controla mediante calefacción y la recirculación del aire caliente de la planta superior a la inferior.

Invernadero tipo Almería

El invernadero tipo Almería posee varios subtipos como son: parral plano, raspa y amagado (**figura 1**) y asimétrico, cuyas diferencias estructurales son muy pequeñas, y en realidad se denominan los tres bajo el mismo término: tipo Almería, ya que fue en esa zona donde se generaron y comenzó su expansión a otras zonas de la Península Ibérica así como de fuera de ella, como el norte de África, América y algunas zonas de Asia. Estos invernaderos derivados de los antiguos parrales dedicados al cultivo de la uva de mesa están compuestos por dos elementos básicos: una estructura vertical y otra horizontal. La estructura vertical está constituida por soportes rígidos que se pueden diferenciar según sean perimetrales (soportes de cerco situados en las bandas y los esquineros) o interiores (denominados pies derechos). Los pies derechos intermedios suelen estar separados 2-2,5 m en sentido longitudinal y 4-8 m en dirección transversal, utilizándose separaciones como 2x4; 2,5x4; 2x6 ó 2x8 m. Los soportes perimetrales tienen una inclinación hacia el exterior de aproximadamente 30° con respecto a la vertical y junto con los vientos, que sujetan su extremo superior al suelo, sirven para tensar las cordadas de alambre de la cubierta. La mayoría de los invernaderos que se construyen hoy día se refuerzan con vientos de anclaje, mediante redondos de hierro corrugados soldados a los pilares del perímetro, en sustitución de la tradicional cordada de alambre, y con un cerco perimetral realizado soldando ángulos de acero en la parte superior de los apoyos.

Figura 1.



La estructura horizontal (plana) flexible está constituida por dos mallas de alambre galvanizado superpuestas, tejidas manualmente de forma simultánea a la construcción del invernadero. Estas dos mallas, además de formar parte de la estructura del invernadero, sirven para sostener y sujetar la lámina de plástico entre ellas.

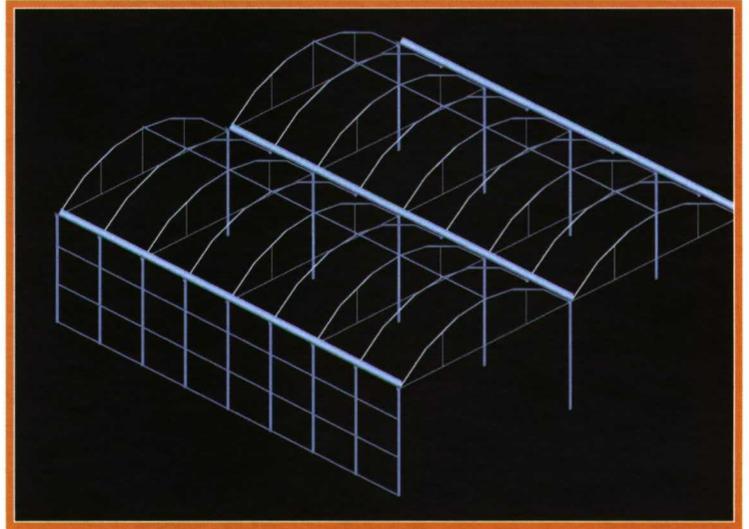
Los invernaderos Almería se construyen actualmente con una altura máxima del invernadero en la cumbre, que oscila entre 3,5 y 5 m, formando lo que se conoce como raspa. En la parte más baja, conocida como amagado, se unen las mallas de la cubierta al suelo mediante alambres denominados vientos y horquillas de hierro que permiten colocar las canales de desagüe del agua de lluvia. La altura del amagado oscila de 2 a 2,8 m y la de las bandas entre 2 y 2,5 m. El ángulo de cubierta oscila entre 6° y 20°, cuanto mayor es éste mejor intercepta la radiación solar, pero requiere mayor solidez estructural debido a los esfuerzos que le provoca la acción del viento.

Invernadero multitúnel

El invernadero multitúnel (**figura 2**) es abundante en toda la costa mediterránea y actualmente se está extendiendo en el sudeste español, fundamentalmente por su mayor capacidad para el control de los factores climáticos, hermeticidad, y por su precio intermedio entre las estructuras tradicionales y los invernaderos de cristal. El invernadero multitúnel, también llamado de tipo industrial, se caracteriza por la forma semicilíndrica de su cubierta y por su estructura totalmente metálica.

Los actuales modelos de invernaderos multitúnel están constituidos en su totalidad por tubos de acero galvanizado, en su mayor parte de sección circular, con diámetros de 60 mm y con espesores

Figura 2.



de 1,5-3 mm. La unión entre las diferentes piezas se realiza mediante tornillos y bridas o abrazaderas, conformadas en frío mediante corte y prensado de chapas galvanizadas con espesores de 1,5-2,5 mm. En estos invernaderos el plástico se sujeta a la estructura mediante unos perfiles denominados omegas, debido a la forma de su sección. Los extremos del plástico se introducen en la parte hueca de la pieza y se sujetan mediante tacos de polietileno que ejercen una fuerte presión en la parte interna del perfil metálico. No poseen los entra-

Turbofarmer por encima de las expectativas.



Suspensiones
hidroneumáticas



Cuando la tecnología Merlo entra en acción no dudeis en aprovechar al máximo de vuestra máquina, porque no queremos poner límites a vuestras expectativas.



Constructor de confianza.

www.merlo.com

Invernadero tipo Venlo.



mados de alambre típicos de los invernaderos tipo Almería.

Los túneles presentan anchuras que varían de 6,5 a 9 m y la separación entre apoyos bajo las canales suelen ser de 2 a 2,5 m. El marco más utilizado en la actualidad es de 8x5 m de separación de los soportes interiores. La altura máxima en cumbrera de este tipo de invernaderos oscila entre 4,5 y 7 m, y en las bandas laterales y bajo canal se adoptan alturas de 3,5 a 5 m. Muchos de los invernaderos de este tipo se construyen con cubierta rígida de policarbonato ondulado en el perímetro, presentando mayor resistencia al viento en los laterales y frontales, donde los esfuerzos son mayores.

Invernaderos tipo Venlo

Los invernaderos de tipo Venlo (**figura 3**) son las estructuras típicas utilizadas en Holanda, y están siendo introducidos en el sudeste peninsular en las últimas campañas agrícolas por empresas holandesas. El problema esencial de este tipo de invernaderos es su elevado coste debido a la mayor resistencia estructural necesaria para soportar la cubierta de cristal. Están conformados por una estructura metálica y una cumbrera en forma de capilla múltiple con una inclinación de 22° en la mayoría de los casos. Mediante vigas de celosía se consiguen grandes anchuras de los módulos, entre 6,4 y 12 m. Las columnas pueden tener una separación de 3, 4 ó 4,5 m, y la altura en cumbrera de la cubierta puede llegar a los 6,5 m. El espesor del vidrio es estándar, de 4 mm y se sujeta por los cuatro lados, con un ancho máximo de 1,125 metros.

Estos invernaderos disponen de ventilación cenital mediante pequeñas ventanas consistentes en dos o tres vidrios, con una profundidad de 82, 100 o 120 cm, que giran sobre un eje situado en cumbrera. Normalmente las aberturas se disponen de forma discontinua alternando los dos lados del techo, aunque en zonas cálidas es posible disponer ventanas rectangulares continuas a lo largo de la cumbrera, con el objetivo de disponer de más superficie de ventilación. El ángulo máximo de abertura en este tipo de ventanas es cercano a 44°. El sistema de abertura y cierre puede ser mediante un mecanismo de balanceo o mediante un sistema de tubo/raíl que se coloca

sobre las vigas transversales de celosía que componen la estructura.

Las estructuras tipo Venlo se han mostrado muy efectivas en los climas fríos de Centroeuropa, área de donde proceden, pero su adaptación a las duras condiciones climáticas estivales de zonas áridas como Almería (España), así como la amortización de la instalación, de precio muy superior a las anteriores, compromete enormemente su validez en estas zonas.

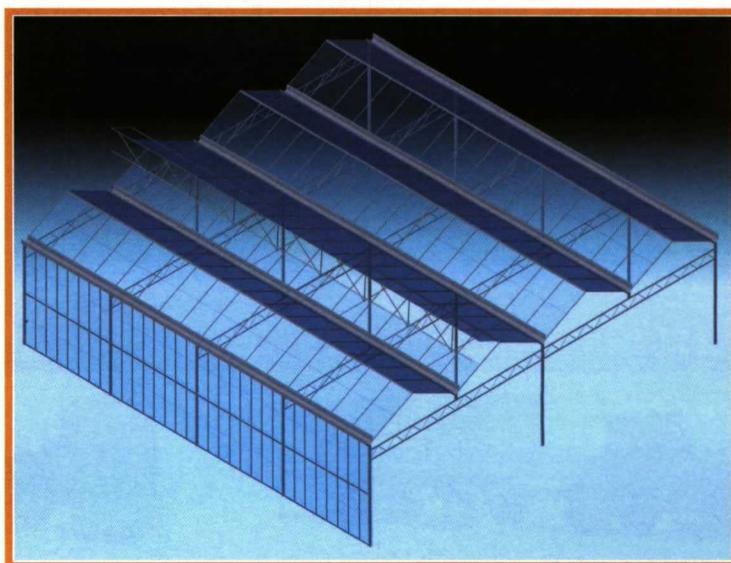
Las simulaciones informáticas como herramientas de diseño

La heterogeneidad en las condiciones climáticas dentro de un invernadero genera una importante falta de uniformidad en la producción, tanto en cantidad como en su calidad, así como problemas de aparición de plagas y enfermedades en las zonas del invernadero con temperaturas y niveles de humedad menos favorables. Por lo tanto, un conocimiento cuantitativo de esta heterogeneidad espacial de las variables climáticas, y la influencia sobre ella de los distintos factores de diseño del invernadero y de los

sistemas de control climático, puede ayudar a optimizar el microclima del invernadero desde el punto de vista de su uniformidad. De esta forma, la efectividad de los sistemas de climatización se puede relacionar con la distribución espacial del aire fresco proveniente del exterior, que permita mantener unas adecuadas condiciones climáticas.

La modelación de los flujos de aire mediante dinámica de fluidos computacional (CFD) consiste en determinar en todos los nodos del dominio de cálculo y para cada instante, las variables de estado representativas del flujo: presión, densidad, vector de velocidad, temperatura y concentración de diferentes gases (vapor de agua y CO₂). De la variación de esas magnitudes características en el espacio y en el tiempo, se pueden deducir los intercambios de calor y de masa. En

Figura 3.



los nodos se pueden asignar los valores de aquellas variables climáticas utilizadas para el diseño del invernadero. Así, las temperaturas de todas las superficies del invernadero, del suelo y del aire exterior se aplican como condiciones de contorno. Del mismo modo, se puede indicar la velocidad del viento y un grado de permeabilidad al aire de los materiales porosos incluidos en el invernadero (cultivo y mallas anti-insectos).

Las simulaciones se han convertido en una poderosa herramienta de los ingenieros para poder estudiar el proceso de ventilación en los invernaderos (**figuras 4 y 5**). En la actualidad la CFD es una técnica de simulación que ha sobrepasado la fase de desarrollo y ahora constituye una sólida herramienta de diseño. Hoy día se utiliza ampliamente para el estudio del comportamiento de todo tipo de procesos de transporte que implican flujo fluido, transmisión de masa y de calor. Recientemente el flujo de aire en invernaderos de tipo Almería, equipados con mallas anti-insectos y ventanas laterales y cenitales, ha sido analizado mediante simulaciones bidimensionales tanto en invernaderos vacíos como con cultivo.

En los tres últimos años, las simulaciones de CFD se han utilizado para el estudio de la ventilación natural en invernaderos incluyendo otros sistemas de control climático como calefacción, pantallas térmicas o nebulización. Hoy día integran el efecto del cultivo, el microclima, la propia estructura del invernadero y los actuadores climáticos. También se han estudiado con CFD diferentes opciones de diseño tanto de los invernaderos como de las ventanas. Otra innovación ha sido el estudio del transporte de sustancias como las esporas de enfermedades fúngicas o las gotas de pesticidas. Actualmente las simulaciones han alcanzado un elevado nivel de complejidad al

incluir los intercambios de radiación entre la atmósfera y las superficies del invernadero, y las transferencias de calor y vapor de agua del aire con el cultivo.

Sistemas de automatización del control climático

En la automatización del control ambiental se está produciendo una evolución en la concepción de la mejora del clima, de forma que en la actualidad, junto con la adecuación de los parámetros climáticos (radiación, temperatura, humedad y concentración de CO₂) a los óptimos para el crecimiento y desarrollo de los cultivos, se persiguen nuevos objetivos como la homogeneidad de las condiciones ambientales dentro de los invernaderos y el rendimiento económico que supone el uso de las diferentes técnicas y sistemas de climatización. El proceso completo de control ambiental en invernaderos consiste en ejercer el control a tres niveles que tienen diferentes escalas temporales. El máximo nivel, correspondiente a la escala temporal más amplia, se preocupa de las decisiones básicas sobre el cultivo y la planificación de la producción. El nivel medio se encarga del control del crecimiento y desarrollo de la planta y tiene una escala de tiempos que va de un día a una semana. En este nivel la optimización dinámica se aplica para determinar los valores de consigna del clima. Éstos son implementados por el controlador del clima del invernadero que ocupa el último nivel y opera en un periodo de tiempo de minutos o segundos.



El auténtico SOP soluble especial para fertirrigación y aplicación foliar

Desde hace más de 10 años, SoluPotasse® ha proporcionado a los agricultores de todo el mundo, una excelente fuente concentrada de potasio y azufre, ayudando a producir cultivos de alta calidad y alto valor.

- Fácil manejo - rápida disolución y totalmente soluble en agua
- Bajo pH - mejora la asimilación de los nutrientes por la planta y disminuye los riesgos de obstrucción de goteros
- Ideal para suelos sensibles y con problemas de salinidad - bajo índice salino y libre de cloro
- Alta pureza y calidad garantizada con resultados óptimos
- Fertilización flexible - una fuente de potasio libre de nitrógeno que además aporta azufre

Tessengerlo Group Fertilizers
giving nature a helping hand

Figura 4.

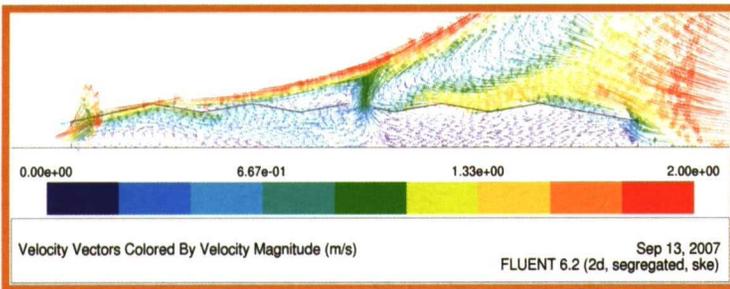
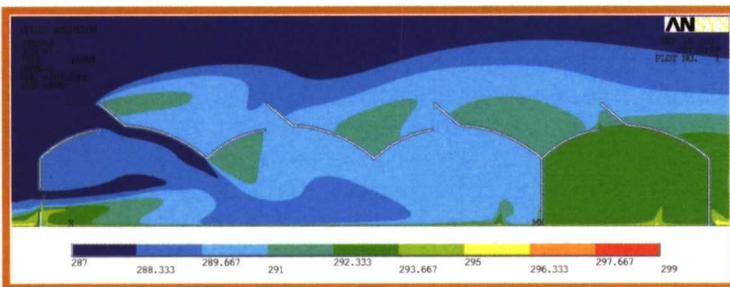


Figura 5.



Una segunda consideración es la entrada de información por parte del agricultor. A un nivel simple, serán los precios de las entradas, y en un nivel más complejo estará la información sobre el desarrollo del cultivo. Los modelos de cultivo son incapaces de incluir todos los factores que influyen en el rendimiento del cultivo, como los efectos de plagas y enfermedades, o la ocurrencia de condiciones meteorológicas anormales que dan lugar a graves situaciones de estrés en el cultivo. También pueden surgir conflictos entre la optimización a corto plazo y la capacidad a largo plazo del cultivo. La aplicación de modelos de crecimiento del cultivo tampoco eliminará las diferencias que existen entre los distintos agricultores en el rendimiento potencial y la calidad que son capaces de obtener. Por consiguiente, el agricultor debe ser consultado sobre las decisiones de control del cultivo a largo plazo.

Actualmente se están desarrollando aún a nivel experimental sistemas de control de tipo predictivo que basándose en previsiones meteorológicas, balances de energía en el invernadero y modelos de crecimiento de las plantas, permiten estimar las variaciones de producción generadas por los sistemas de climatización y su coste económico. Para ello también deben utilizar bases de datos de precios y modelos económicos que permitan predecir el valor de la producción final y compararla con el coste de funcionamiento de los equipos de climatización, siendo éste su punto débil, que puede solventarse mediante el aporte de la experiencia acumulada en años anteriores.

En los invernaderos tradicionales como los del tipo Almería se utilizan pequeños controladores (autómatas programables) que regulan, por ejemplo, la apertura y cierre de ventanas (o el funcionamiento de los extractores) en función de la temperatura y de la humedad. En instalaciones más sofisticadas, con modernas estructuras tipo multitúnel o Venlo, se utilizan sistemas informáticos de gestión del clima, que integran todos los parámetros climáticos y todos los actuadores: ventanas cenitales y laterales, ventilación forzada, nebulización, calefacción, inyección de CO₂, etc. Registran toda la información y la presentan en forma de gráficas que permiten el estudio pormenorizado de todo lo ocurrido en el invernadero.

Medida de la temperatura y humedad

Las medidas de la temperatura del aire, tanto en el interior como

en el exterior del invernadero, se realizan por medio de termorresistencias (basados en la variación de la resistencia eléctrica de un conductor con la temperatura), termopares o termistores situados dentro de una cápsula ventilada a una velocidad superior a 3 m/s y no expuesta a la radiación solar, por medio de una cubierta de aluminio para reducir la relación entre intercambio de calor por radiación y por convección. La absorción de energía radiante por exposición de la sonda a la radiación produce sobrevaloraciones de la temperatura del aire. Las sondas más utilizadas son las termorresistencias de platino de 100 Ω y 1.000 Ω (denominadas Pt-100 y Pt-1000) que utilizan como elemento resistivo un hilo de platino por la gran pureza con que se obtiene y a la constancia de sus propiedades físicas y químicas a lo largo del tiempo. Su rango de medida suele ser de -10 a 60°C, con una precisión de 0,1°C. Necesitan una fuente de alimentación externa para su funcionamiento.

Para la medida de la humedad relativa en los invernaderos se suelen utilizar psicrómetros, que miden simultáneamente la temperatura del aire seco y la temperatura de termómetro húmedo (mediante dos termorresistencias), obtenida esta última mediante una mecha de algodón que permanece siempre mojada por medio de un pequeño depósito de agua. Al evaporarse el agua de la mecha, enfría el termómetro proporcionalmente a la humedad del aire ambiente. El termómetro seco indica, por el contrario, la temperatura del aire independientemente de su estado higrométrico. La diferencia existente entre la temperatura de ambos instrumentos permite deducir la humedad relativa del aire conocida la presión atmosférica. Este tipo de sensores presentan un comportamiento mejor para todos los valores de humedad, sin embargo necesitan alimentación eléctrica y mayor mantenimiento, para asegurar que la mecha permanece siempre húmeda, además de tener un precio elevado. Su precisión es del 2 o 3% de humedad. Actualmente también existen en el mercado sondas de humedad relativa de tipo capacitivo que utilizan materiales higroscópicos cuya resistencia eléctrica disminuye de forma proporcional a la cantidad de vapor de agua absorbida. Presentan la ventaja con respecto a los psicrómetros de no necesitar mantenimiento riguroso, aunque es muy importante el que se realice de forma regular una correcta calibración de la sonda.

Medida de otros parámetros climáticos

La medida de la radiación solar global incidente sobre un plano horizontal, exterior al invernadero, se realiza mediante un piranómetro, colocado en una estación meteorológica situada a alturas de 4 a 9 m. En dicha estación también se suele disponer de un anemómetro de cazoletas para la medida de la velocidad del viento, que incorpora una dinamo tacométrica o alternador, cuya salida analógica es proporcional a la velocidad de giro de las cazoletas. Esta velocidad de rotación es proporcional a la del viento al cuadrado y a un coeficiente de forma de las cazoletas. El sensor necesita un valor mínimo de velocidad del viento para comenzar a funcionar, normalmente entre 0,5 y 1 m/s. La dirección del viento se puede medir con una veleta que envía una señal eléctrica proporcional al ángulo que ésta forma con el norte. La sensibilidad de la veleta suele ser de 1 m/s y la salida de corriente es proporcionada por un potenciómetro que genera una señal analógica de diferencia de potencial en corriente continua que varía entre 1 y 15 V.

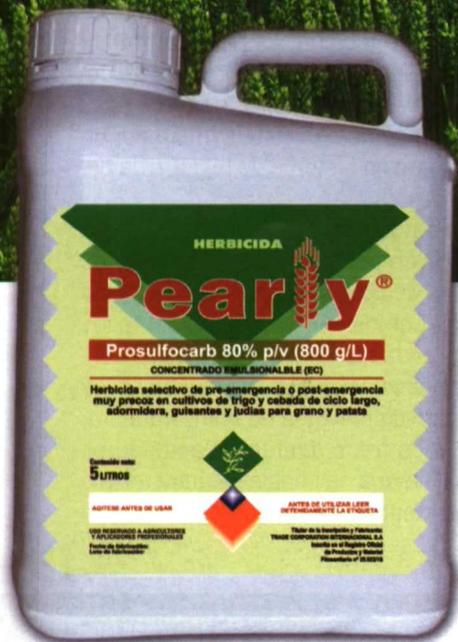
Las estaciones meteorológicas para la medida de los parámetros climáticos exteriores han de situarse próximas al invernadero, y en un lugar libre de obstáculos para que no afecten las turbulencias que éstos suelen generar. Sin embargo, una práctica habitual suele ser la colocación sobre la propia cubierta del invernadero o la de las naves auxiliares, lo cual suele producir distorsiones importantes en las lecturas de la velocidad del viento y de su dirección.

Pearly[®]

+ Mamut[®]

El Dominio Completo

de los Vallicos Resistentes y las Dicotiledóneas desde la siembra



TRADECORP

DIVISION ESPAÑA

Alcalá 498 Planta 2º 28027 Madrid (España)
Tlf: 91 327 29 30 Fax: 91 304 42 00
www.tradecorp.es



Invernadero tipo Almería.

Concentración de CO₂

En los invernaderos más sofisticados tecnológicamente que realizan incorporación de anhídrido carbónico, es necesario medir la concentración de CO₂ mediante analizadores de gases en el infrarrojo (IRGA) dado que la absorción de radiación infrarroja que se produce en una muestra de aire es proporcional a su concentración en CO₂. La precisión de los sensores por absorción de infrarrojos es de decenas de partes por millón y varía cuando la humedad relativa es elevada debido a la alta absorción que también origina el vapor de agua. La medida se debe realizar mediante la toma de muestras de aire en diversos puntos del invernadero (o en distintos módulos), para obtener valores suficientemente representativos de la concentración media interior. De igual modo, hay que tener en cuenta la necesidad de renovar el aire retenido en los tubos que transportan el aire desde los puntos de muestreo hasta el sensor. Debido a la bajada en los precios de los equipos, es recomendable poner al menos un sensor por módulo, y así evitar aspirar el aire de varios módulos para analizarlo en un mismo sensor.

Medida de parámetros relativos al comportamiento de la planta

Actualmente también están disponibles equipos comercializados bajo la denominación de fitomonitores, que miden otra serie de parámetros relativos al comportamiento de la planta, como crecimiento del fruto y del tallo, flujo de savia o temperatura de la hoja. Estos dispositivos por el momento, sólo se muestran útiles como fuente de información cualitativa y no cuantitativa, debido a: la alta sensibilidad del instrumental, que origina variaciones en las medidas por perturbaciones externas o por una incorrecta instalación, la falta de representatividad del conjunto de plantas del invernadero y al enorme

déficit de conocimiento existente hoy día relativo a los parámetros que mide.

La medida de la temperatura absoluta de las hojas mediante un sensor que tiene un termistor semiconductor equipado con una pinza especial para sujetarlo directamente a las hojas, permite calcular la diferencia de temperatura entre el cultivo y el aire (normalmente dentro del rango de $\pm 5^{\circ}\text{C}$). La medida de la temperatura del cultivo también se puede utilizar para analizar los gradientes térmicos dentro del dosel vegetal y determinar la eficacia de los sistemas de control climático. Igualmente, la diferencia entre la temperatura del cultivo y la temperatura del aire puede usarse como criterio para la detección del estrés hídrico. Esta diferencia, y los índices del estrés derivados, pueden ayudar en el manejo de los sistemas de control climático como las mallas de sombreo, la ventilación o los sistemas de nebulización.

Normalmente el ciclo de transpiración diario produce una reducción temporal del contenido de agua en las plantas, que se manifiesta en la reducción proporcional del diámetro del tallo, de forma que un aumento en la amplitud de la contracción diaria indicaría una situación de estrés hídrico. Por tanto, las microvariaciones del diámetro del tallo (0-5 mm) proporcionan una información útil sobre el estado hídrico y el crecimiento de las plantas. Estos datos pueden usarse junto a modelos de la evapotranspiración, no sólo para perfeccionar la programación del riego, sino para optimizar las consignas del control climático.

Los sensores de flujo de savia se basan en la medida de la variación de la pérdida de energía al aplicar en la proximidad de la corriente de savia bruta, una fuente de calor constante. Mediante un pequeño calentador se eleva la temperatura del tallo unos 2-3°C por encima del aire, midiendo la distribución de temperatura por encima y por debajo del calentador mediante dos uniones de una termopila. Si no hay flujo en el tallo, la distribución de temperatura en el tallo es simétrica, obteniendo una señal eléctrica próxima a 0 V. El aumento o disminución del flujo de savia que pasa por el tallo, y que actúa como fluido refrigerante, produce una alteración en la disipación de calor y en la distribución de temperatura. La medida del flujo de savia permite estimar de forma muy exacta la tasa de transpiración del cultivo. Su valor sigue una evolución diaria estrechamente ligada a la de la radiación solar, con valores máximos en torno al mediodía y mínimos durante la noche. Las situaciones de estrés hídrico se detectan por caídas anormales de la medida del flujo de savia.

Por último, también existen monitores de fotosíntesis que permiten observar el intercambio a largo plazo de CO₂ de varias hojas simultáneamente. El sistema está constituido por varias cámaras de hoja con un sistema de auto pinzado que no perturba el desarrollo de las hojas en condiciones naturales. Las cámaras fijas a la hoja se mantienen abiertas entre los ciclos de medida. El sistema trabaja con varias cámaras de tal forma que se cierran secuencialmente durante unos minutos y permanecen abiertas hasta que empieza el siguiente ciclo de medida. Los datos medidos en cada cámara por un analizador de CO₂ son almacenados en un sistema de registro de datos que puede transferirlos a un PC.

Las señales que proporcionan estos sensores permiten la regulación automatizada del clima del invernadero, mediante actuadores situados en los equipos y sistemas de control climático. En función de las diferentes señales enviadas por los sensores y mediante los algoritmos y funciones registrados en la memoria del equipo de control, éste determina las modificaciones que se deben producir en los diferentes sistemas de climatización disponibles en el invernadero. Para ello envía una serie de órdenes a los diferentes actuadores (bombas, válvulas, motores, etc.) en forma de señales eléctricas que actúan directamente sobre los elementos mecánicos o a través de relés eléctricos. ■